

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1. Tinjauan Umum

Pada tahap perencanaan struktur gedung perkantoran ini, perlu dilakukan studi literatur untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya. Pada jenis struktur gedung tertentu, perencanaan sering kali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan, misalnya pada situasi yang mengharuskan bentang ruang yang besar serta harus bebas kolom, sehingga akan menghasilkan beban yang harus dipikul oleh balok yang lebih besar pula.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi pelat, balok, kolom, tangga dan lift sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari pondasi tiang pancang. Studi literatur dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan/desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

2.2. Konsep Pemilihan Jenis Struktur

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem fungsional gedung. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan

masalah-masalah seperti arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun faktor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut :

1. Aspek arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu yang indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.

2. Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi daripada bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.

3. Kekuatan dan kestabilan struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban lateral, dan kestabilan struktur baik arah vertikal maupun lateral.

4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Biasanya dari suatu gedung dapat digunakan beberapa sistem struktur yang bisa digunakan, maka faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi sistem struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi yang dalam batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal penting dalam perencanaan struktur gedung terutama dalam penanggulangan bahaya kebakaran, maka dilakukan usaha-usaha sebagai berikut :

- Perencanaan *outlet* yang memenuhi persyaratan
- Penggunaan material tahan api terutama untuk instalasi-instalasi penting

- Fasilitas penanggulangan api disetiap lantai
- *Warning system* terhadap api dan asap
- Pengaturan ventilasi yang memadai

6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perancangan dan pelaksanaan suatu proyek adalah aspek lingkungan. Dengan adanya suatu proyek yang diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan dan kemasyarakatan. Sebagai contoh dalam perencanaan lokasi dan denah haruslah mempertimbangkan kondisi lingkungan apakah rencana kita nantinya akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, baik secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

Sedangkan pemilihan jenis pondasi (*sub structure*) yang digunakan menurut Suyono (1984) didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu :

1. Keadaan tanah pondasi

Jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah erat kaitannya dengan jenis pondasi yang dipilih.

2. Batasan-batasan akibat konstruksi diatasnya

Keadaan struktur atas sangat mempengaruhi pemilihan jenis pondasi. hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan diatasnya (statis tertentu atau tak tertentu, kekakuan dan sebagainya).

3. Batasan-batasan dilingkungan sekelilingnya

Hal ini menyangkut lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.

4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan

Suatu proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat

hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi ekonomis dalam pembangunan.

2.2.1. Elemen-Elemen Struktur Utama

Pada perencanaan struktur gedung ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal diatas elemen kaku vertikal. Balok memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok dan mentransfer beban itu ke tanah / pondasi.

2.2.2. Material / Bahan Struktur

Secara umum jenis-jenis material struktur yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut :

1. Strudur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material strudur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dianggap tidak ekonomis.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Umumnya strudur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini memiliki perilaku diantara struktur baja dan struktur beton bertulang, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi .

3. Struktur Kayu (*Wooden Stucture*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cast In Situ reinforced Concrete structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

- Sistem *Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor ditempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80% f'_c diberi gaya prategang. Biasanya untuk lantai dan balok.

- Sistem *Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

2.3. Konsep Desain / Perencanaan Struktur

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan konfigurasi bangunan, pemilihan material, konsep pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah, serta sistem pelaksanaan.

2.3.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen - elemen vertikal dan horisontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban lateral yang paling berpengaruh terhadap struktur adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini dilakukan untuk mengetahui metode analisis, pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

A. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhankan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral orce Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta / massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung - gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- Gedung - gedung dengan loncatan - loncatan bidang muka yang besar
- Gedung - gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung - gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter

Metode ini ada dua jenis yaitu Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dan Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

B. Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metoda analisis untuk perencanaan struktur gedung tahan gempa, ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan yang berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan.

1. Perancangan struktur bangunan yang kecil dan tidak bertingkat serta elemen-elemen non struktural, tidak diperlukan adanya analisa terhadap pengaruh beban gempa.
2. Perancangan beban gempa untuk bangunan yang berukuran sedang dapat menggunakan analisa beban statik ekivalen. Hal ini disarankan untuk memeriksa gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan menggunakan desain yang sesuai dengan kondisi struktur.
3. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting dengan distribusi kekakuan dan massa yang tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan analisa dinamik.

4. Perancangan struktur bangunan yang besar dan penting, konfigurasi struktur sangat tidak beraturan dengan tinggi lebih dari 40 meter, analisa dinamik dan inelastik diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tersebut aman terhadap gaya gempa.

Berdasarkan ketentuan diatas, maka perencanaan struktur gedung dalam tugas akhir ini menggunakan **metode analisa beban statik ekuivalen**.

2.3.2. Denah Dan Konfigurasi Bangunan

Dalam mendesain struktur perlu direncanakan terlebih dulu denah struktur setiap lantai bangunan, sehingga penempatan balok dan kolom sesuai dengan perencanaan ruang.

2.3.3. Pemilihan Material

Spesifikasi bahan / material yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

Beton	:		
		$f'_c = 25 \text{ Mpa}$	$E_c = 23500 \text{ Mpa}$
Baja	:		
Tul. Utama	:	$f_y = 300 \text{ Mpa}$	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$
Tul. Geser	:	$f_y = 275 \text{ Mpa}$	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$
Profil	:	$f_y = 300 \text{ Mpa}$	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$

2.3.4. Konsep Pembebanan

A. Beban - Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

Gaya statik adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan yang diasosiasikan dengan gaya-gaya ini juga secara perlahan-lahan timbul, dan juga mempunyai karakter steady state.

Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat steady state dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah-ubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur hingga deformasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar.

1. Beban Statis

Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (*Dead Load/ DL*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan.

Tabel 2.1 Beban Mati Pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg / m ²
Beton Bertulang	2400 kg / m ²
Dinding pasangan 1/2 Bata	250 kg / m ²
Kaca setebal 12 mm	30 kg / m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg / m ²
Lantai ubin semen portland	24 kg / m ²
Spesi per cm tebal	21 kg / m ²
Pertisi	130 kg / m ²

- Beban hidup (*Live Load/LL*)

Beban hidup adalah beban - beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh

karena itu, faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati

Tabel 2.2 Beban Hidup Pada Lantai Bangunan

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Kantor	250 kg / m ²
Tangga dan Bordes	300 kg / m ²
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg / m ²
Beban Pekerja	100 kg / m ²

2. Beban Gempa (*Earthquake Load/El*)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut fault zone. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu:

- Massa bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 1726-198), dinyatakan sebagai berikut:

$$V = W_t \cdot C^* \quad (2.1)$$

$$C^* = C \cdot I \cdot K \cdot Z \quad (2.2)$$

Dimana:

V = Beban Gempa Dasar Nominal (didapatkan dengan mengalikan beban gempa rencana dengan koefisien gempa dasar nominal)

W_t = Kombinasi dan beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C^* = Koefisien Gempa Dasar Nominal

C = Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana, yang besarnya tergantung dari jenis tanah dasar dan waktu getar struktur T

I = Faktor Keutamaan Struktur

K = Faktor Jenis Struktur

Z = Faktor Wilayah, dimana Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa

Untuk menentukan harga c harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan itu berdiri. Untuk menentukan jenis tanah menggunakan rumus tegangan tanah dasar sesuai dengan yang tertera pada Diktat Kuliah Rekayasa Pondasi sebagai berikut:

$$\tau = c + \Sigma \sigma_1 \tan \phi \quad (2.3)$$

$$\sigma_1 = \gamma_1 + h_1 \quad (2.4)$$

dimana:

τ = Tegangan geser tanah (kg/cm^2)

c = Nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

σ_1 = Tegangan normal masing-masing lapisan tanah (kg/cm)

γ_1 = Berat jenis masing-masing lapisan tanah (kg/cm)

h = Tebal masing-masing lapisan tanah

ϕ = Sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

Tabel 2.3 Definisi Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Kedalaman Lap. Keras (Meter)	Nilai Rata-rat Kekuatan Geser Tanah		
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S < 180$
≥ 20	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S < 270$

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Struktur

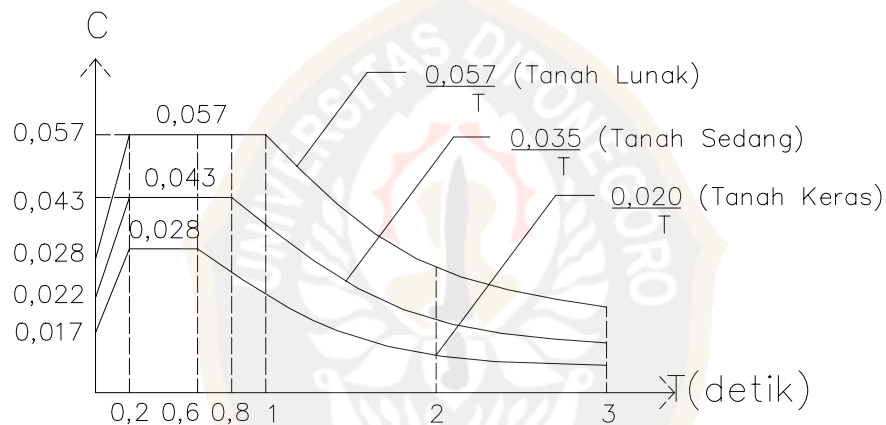
Jenis Struktur Bangunan/Gedung	I
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan monumental untuk dilestarikan 	1,9
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan penting yang harus tetap berfungsi setelah terjadi gempa, seperti rumah sakit, instalasi air minum, pembangkit listrik 	1,4
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan tempat menyimpan gas, minyak, asam dan bahan beracun instalasi nuklir 	1,6
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan rendah untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, tinggi s/d 10 tingkat 	0,9
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan biasa untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, dengan tinggi 10–30 tingkat 	1,0
<ul style="list-style-type: none"> Bangunan tinggi untuk penghunian, pertokoan dan perkantoran, dengan tinggi lebih dari 30 tingkat 	1,2

Tabel 2.5 Faktor Wilayah Gempa

Wilayah Gempa Indonesia	Percepatan Tanah Maksimum Pada Tanah Keras (g)	Z
1	0.26	2.6
2	0.18	1.8
3	0.14	1.4
4	0.10	1.0

Wilayah Gempa Indonesia	Percepatan Tanah Maksimum Pada Tanah Keras (g)	Z
5	0.06	0.6
6	0.00	0.0

Spektrum Respon Nominal Gempa Rencana untuk struktur dengan daktilitas penuh pada beberapa jenis tanah dasar, diperlihatkan pada gambar dibawah mi:



Gambar 2.1 Respon Spektrum Gempa Rencana

Beban geser dasar nominal V menurut persamaan 2.1 harus dibagi sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot z_i)} V \quad (2.5)$$

dimana:

W_i = berat lantai tingkat ke-i

z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i

n = nomor lantai tingkat paling atas

Apabila rasio antara tinggi struktur bangunan gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0.1V$ harus dianggap beban horizontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0.9V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tingkat struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut persamaan 2.6.

Waktu getar alami fundamental struktur bangunan gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut:

$$T_1 = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (2.6)$$

dimana:

d_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke- i akibat beban F_i
(mm)

g = percepatan gravitasi sebesar 9.81 mm/detik^2

Apabila waktu getar alami fundamental T_1 struktur bangunan gedung untuk penentuan faktor Respon Gempa C_1 ditentukan dengan rumus-rumus empiris atau didapat dari analisis vibrasi bebas tiga dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung menurut persamaan 2.7.

Perencanaan struktur di daerah gempa menggunakan konsep desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhan struktur dapat memencarkan energi yang sebesar-besarnya.

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom-kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen-elemen balok (*Strong Column Weak Beam*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom.
- Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan.

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dan detail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

3. Beban Angin(*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 pasal 4.4.2. pada gedung tertutup dengan tinggi 16 meter dapat diberikan pembebanan atas pengaruh angin.

B. Faktor Beban Dan Kombinasi Pembebanan

Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983, ada 2 kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Disebut pembebanan tetap karena beban dianggap dapat bekerja terus menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*).

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup dan beban gempa. Nilai - nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Faktor beban memberikan nilai kuat perlu bagi perencanaan pembebanan pada struktur.

SNI 03-1729-2002 sub bab 6.2.2 menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut:

- Untuk beban mati / tetap : $Q = 1.2$
- Untuk beban hidup sementara : $Q = 1.6$

Namun pada beberapa kasus yang meninjau berbagai kombinasi beban, nilai kombinasi kuat perlu yang diberikan:

$$U = 1.2D + 1.6L \quad (2.7)$$

$$U = 1.2 D + \gamma_L L \pm 1.0E \quad (2.8)$$

dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

γ_L = 0.5 bila $L < 5 \text{ Kpa}$, dan 1 bila $\geq 5 \text{ Kpa}$

2.3.5. Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada saat pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya. SNI 03-1729-2002 menetapkan berbagai nilai F untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

Tabel 2.6 Reduksi Kekuatan

Kuat Rencana Untuk	Faktor Reduksi
1. Komponen struktur komposit	
a. Kuat tekan	0.85
b. Kuat tumpu beton	0.60
c. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastic	0.85
d. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	0.90
2. Komponen struktur yang memikul lentur	
Pelat badan yang memikul geser	0.90
3. Sambungan baut	
a. Baut yang memikul geser	0.75
b. Baut yang memikul tarik	0.75
c. Baut yang memikul kombinasi geser & tarik	0.75
d. Lapis yang memikul tumpu	0.75
3. Sambungan las	
a. Las tumpul penetrasi penuh	0.90
b. Las sudut dan tumpul penetrasi sebagian	0.75
c. Las pengisi	0.75

2.4. Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari struktur sekunder seperti pelat, tangga, lift, balok anak dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok, kolom dan shear wall.

Perencanaan struktur portal utama direncanakan dengan menggunakan prinsip strong column weak beam, dimana sendi-sendi plastis diusahakan terletak pada balok-balok.

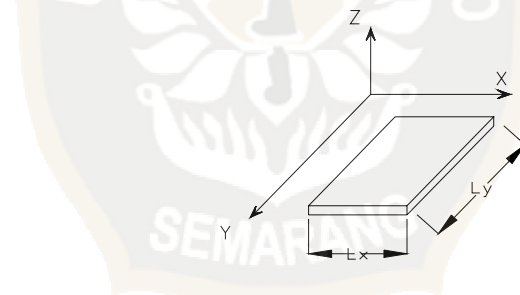
2.4.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur planar kaku yang terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang perlu mempertimbangkan faktor

pembebanan dan ukuran serta syarat-syarat dari peraturan yang ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan jepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir.

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang dari 3, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat akan melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan bila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Dimensi bidang pelat

Langkah-langkah perencanaan penulangan pelat adalah sebagai berikut :

- 1 Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
- 2 Menentukan tebal pelat.

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 maka tebal pelat ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta} \quad (2.9)$$

$$h_{\text{mak}} = \frac{\ln(0.8 + \frac{f_y}{1500})}{36} \quad (2.10)$$

h_{min} pada pelat lantai ditetapkan sebesar 12 cm, sedang h_{min} pada pelat atap ditetapkan sebesar 9 cm.

3. Menghitung beban yang bekerja pada pelat, berupa beban mati dan beban hidup terfaktor.

4. Menghitung momen-momen yang menentukan.

Berdasarkan teori garis leleh (*Yield Lines Theory*)

5. Mencari tulangan pelat

Perhitungan penulangan pelat menggunakan langkah perhitungan Penampang Persegi Tulangan *Single* menurut Ir. Udiyanto (1996)

a. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.

b. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.

c. Membagi M_u dengan $\phi \left(\frac{M_u}{\phi} \right)$ (2.11)

dimana ϕ = faktor reduksi 0,8

d. Mencari nilai K

$$K = \frac{M_n}{b \times d^2 \times R_e} \quad (2.12)$$

e. Mencari nilai F dan tentukan jenis tulangan

$$F = 1 - \sqrt{1 - (2 \times K)} \quad (2.13)$$

f. Menghitung luas tulangan

$$A_s = F \times b \times d_x \times \frac{R_e}{f_y} \quad (2.14)$$

g. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{mak}}$)

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.15)$$

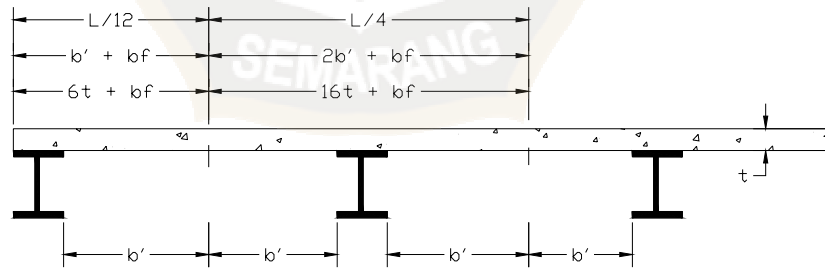
$$\rho_{\text{mak}} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \quad (2.16)$$

2.4.2 Perencanaan Balok

2.4.2.1 Lebar Efektif Flens

AISC menentukan lebar dari lempeng beton yang turut aktif dalam aksi komposit (AISC 1.11.1), seperti yang terlihat pada gambar dibawah (Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2, Rene Amon. Bruce Knobloch atau Mazumder). Untuk lempeng-lempeng yang melebar pada kedua sisi gelagar , besarnya lebar *flens* efektif maksimum tidak boleh melampaui :

- Seperempat dari panjang bentang gelagar L , atau
- Setengah dari jarak bersih ke gelagar berikutnya yang terdapat pada kedua sisi ditambah b_f , atau
- Enam belas kali tebal lempeng t ditambah b_f . Apabila lempeng beton hanya terdapat pada satu sisi dari gelagar, maka lebar efektif maksimum b tidak boleh melampaui (1) Seperduabelas dari panjang bentang gelagar L , atau (2) Setengah dari jarak bersih ke gelagar berikutnya ditambah b_f , atau (3) Enam kali tebal dari lempeng beton t ditambah b_f .

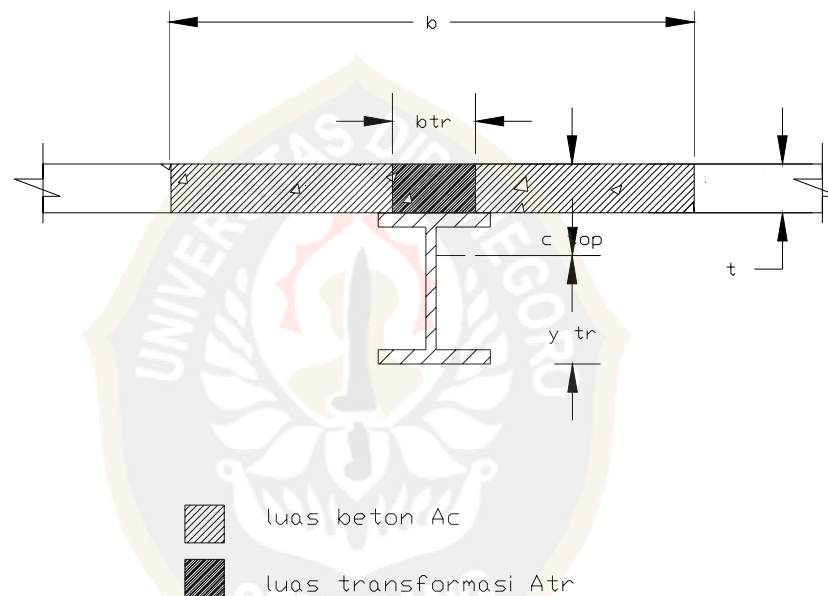


Gambar 2.3 Lebar efektif flens beton pada konstruksi komposit

2.4.2.2 Perhitungan Tegangan

Tegangan-tegangan pada penampang komposit biasanya dihitung dengan menggunakan metode transformasi luas, disini salah satu dari luas material yang dipakai ditransformasikan menjadi luas yang ekuivalen terhadap luas material lainnya. Biasanya luas efektif beton yang

ditransformasikan menjadi luas baja yang ekuivalen. Dengan menganggap bahwa pada jarak yang sama dari sumbu netral besarnya regangan yang terjadi pada kedua material adalah sama, maka besarnya unit tegangan pada salah satu material adalah sama dengan perkalian antara regangan yang terjadi dengan modulus elastisitasnya. Unit tegangan baja dengan demikian bisa dinyatakan sebagai E_s/E_c dikalikan dengan unit tegangan beton (Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2, Rene Amon.Bruce Knobloch atau Mazumder).



Gambar 2.4 Penampang konstruksi komposit tanpa pelat penutup

Dengan memisahkan perbandingan E_s/E_c sebagai perbandingan modulus n , gaya yang ditahan oleh beton seluas satu satuan luas adalah setara dengan gaya yang ditahan oleh baja seluas satu satuan luas. Dengan demikian luas efektif beton ($A_c = b_{ef} \times t$), bisa digantikan dengan luas transformasi :

$$A_{transformasi} = \frac{A_c}{n} \quad (2.17)$$

dimana :

A_c adalah luas *flens* beton efektif

n adalah perbandingan modulus baja dengan modulus beton

Setelah sumbu netral dari penampang transformasi ditentukan, kemudian momen inersianya I_{tr} dapat dihitung. Tegangan lentur maksimum untuk baja dapat dinyatakan dengan persamaan ;

$$\sigma_{bs} = \frac{M * y_{tr}}{I_{tr}} \quad (2.18)$$

dimana :

σ_{bs} adalah tegangan lentur maksimum baja.

M adalah momen lentur

y_{tr} adalah jarak dari sumbu netral ke serat penampang baja terjauh.

Tegangan lentur maksimum untuk beton dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_{bc} = \frac{M * c_{atas}}{n * I_{tr}} \quad (2.19)$$

dimana :

σ_{bc} adalah tegangan lentur maksimum beton.

c_{atas} adalah jarak dari sumbu netral ke serat beton terjauh

n adalah perbandingan modulus.

I_{tr} adalah momen inersia penampang komposit transformasi.

Tahanan momen transformasi dari gelagar kadang-kadang dipakai harga :

$$S_{tr} = \frac{I_{tr}}{y_{tr}} \quad (2.20)$$

dimana :

S_{tr} adalah tahanan momen penampang komposit transformasi terhadap *flens* bawah.

Untuk konstruksi yang tidak disangga, karena penampang baja harus menahan beban mati, tegangan lentur untuk baja dinyatakan oleh ,

$$\sigma_{bs} = \frac{M_D * c}{I_s} \quad (2.21)$$

dimana :

M_D adalah momen yang hanya disebabkan oleh beban mati,

c adalah jarak dari sumbu netral profil baja sendiri ke serat penampang baja yang terjauh,

I_s adalah momen inersia total dari baja, termasuk juga pelat penutup apabila digunakan .

Tegangan lentur tersebut harus lebih kecil daripada tegangan lentur yang diizinkan. Untuk mendapatkan kepastian bahwa tegangan-tegangan lentur tetap akan berada dibawah tegangan leleh pada keadaan dibebani untuk gelagar-gelagar yang tidak disangga, harus memenuhi rumus :

$$S_{tr} = (1,35 + 0,35 \frac{M_L}{M_D}) S_s \quad (2.22)$$

dimana :

S_s adalah tahanan momen dari baja saja.

2.4.2.3 Batasan Tegangan Yang Terjadi

Tegangan lentur pada baja dibatasi sampai $0,66 f_y$ dan pada beton sampai $0,45 f'_c$, dimana f'_c adalah kekuatan beton pada usia 28 hari.(Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2, Rene Amon.Bruce Knobloch atanu Mazumder), atau dapat ditulis sebagai berikut (Steel, Concrete, & Composite Design Of Tall Building, Bungale S. Taranath) :

$$\sigma_b = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq 0,66 f_y \quad (2.23)$$

dimana :

f_y adalah tegangan leleh minimum jenis baja yang dipakai.

2.4.2.4 Kekuatan Balok Komposit Dengan Penghubung Geser

Kekuatan balok komposit dengan penghubung geser, berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002, dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Kuat lentur positif rencana = $\phi_b \cdot M_n$, ditentukan sebagai berikut:

$$a. \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}, \phi_b = 0,85 \quad (2.24)$$

$$b. \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} > \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}, \phi_b = 0,90 \quad (2.25)$$

2. Kuat lentur negatif rencana = $\phi_b \cdot M_n$, harus dihitung untuk penampang baja saja.
3. Sebagai alternatif, kuat lentur negatif rencana $\phi_b \cdot M_n$, dapat dihitung dengan mengambil $\phi_b = 0,85$ selama hal-hal berikut dipenuhi :
 - a. Balok baja mempunyai penampang yang kompak yang diberi pengaku yang memadai.
 - b. Pelat beton dan balok baja di daerah momen negatif harus disatukan dengan penghubung geser.
 - c. Tulangan pelat yang sejajar dengan balok baja disepanjang daerah lebar efektif pelat beton harus diangker dengan baik.

2.4.2.5 Kelangsingan Penampang

Untuk penampang yang kompak harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

a. Untuk plat sayap

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}, \text{ dimana } f_y \text{ dalam Mpa} \quad (2.26)$$

b. Untuk plat badan

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}, \text{ dimana } f_y \text{ dalam Mpa} \quad (2.27)$$

2.4.2.6 Kuat Geser Rencana

Berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002, kuat geser rencana balok komposit, $\phi_s \cdot V_n$, ditentukan berdasarkan kuat geser pelat badan penampang baja.

$$V_u \leq \phi_s \cdot V_n \quad (2.28)$$

dimana :

V_u adalah gaya geser perlu

ϕ_s adalah faktor reduksi yaitu 0,85

V_n adalah kuat geser nominal pelat badan penampang baja

Perhitungan kuat geser nominal pelat badan penampang baja sesuai ketentuan sebagai berikut :

$$1. \quad \text{Jika } \left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}}, \text{ dengan } k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (2.29)$$

$$\text{maka } V_n = 0,6 * f_y * A_w \quad (2.30)$$

$$2. \quad \text{Jika } 1,10 \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}} \quad (2.31)$$

$$\text{maka } V_n = 0,6 * f_y * A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}} \right] * \frac{1}{(h/t_w)} \quad (2.32)$$

$$3. \quad \text{Jika } 1,37 \sqrt{\frac{k_n * E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right) \quad (2.33)$$

$$\text{maka } V_n = \frac{0,9 * A_w * k_n * E}{(h/t_w)^2} \quad (2.34)$$

2.4.2.7 Penghubung Geser (Shear Connector)

Menurut AISC (Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2, Rene Amon. Bruce Knobloch atau Mazumder), jumlah penghubung geser yang diperlukan untuk aksi komposit penuh ditentukan dengan membagi gaya geser total V_h yang akan ditahan, diantara titik momen positif maksimum dan titik momen nol, dengan kapasitas dari sebuah penyambung. Jumlah yang didapat ini digandakan untuk mendapatkan jumlah alat penyambung total yang dibutuhkan untuk seluruh bentang, dapat ditulis sebagai berikut:

$$N_1 = \frac{V_h \text{ (terkecil)}}{Q_n} \quad (2.35)$$

N_1 = jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah diantara momen maksimum dan momen nol

Q_n = kuat nominal geser untuk penghubung geser

Besar gaya geser V_h adalah harga terkecil dari dua harga V_h seperti yang ditentukan oleh rumus-rumus berikut:

1. Pada daerah momen positif

$$V_h = \frac{0,85 * f'_c A_c}{2} \quad (2.36)$$

$$V_h = \frac{A_s * F_y}{2} \quad (2.37)$$

2. Pada daerah momen negatif

$$V_h = A_{sr} \times f_{yr} \quad (2.38)$$

Dimana :

V_h = besar gaya geser yang ditahan, diantara momen positif maksimum titik momen nol

f'_c = kekuatan tekan beton pada usia 28 hari

A_c = luas *flens* beton efektif = $b_{ef} \times t_p$

A_s = luas gelagar baja

A_{sr} = luas tulangan pada plat beton selebar b_{ef}

f_{yr} = tegangan leleh baja tulangan

F_y = tegangan leleh minimum baja

Sedangkan menurut AISC (Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Building) untuk beban terpusat, jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah diantara momen beban terpusat dan momen nol yang terdekat, diberikan rumus sebagai berikut :

$$N_2 = \frac{N_1 [(M\beta / M_{\max}) - 1]}{\beta - 1} \quad (2.39)$$

dimana :

N_2 = jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah diantara momen beban terpusat dan momen nol yang terdekat.

M = momen pada beban terpusat

β = perbandingan modulus

Untuk kekuatan penghubung geser, berdasarkan spesifikasi AASHTO 1977, kuat nominal satu penghubung geser jenis paku yang ditanam didalam pelat beton masif adalah :

$$Q_n = 0,0004 (d_s)^2 \sqrt{f_c * E_c} \text{ untuk } H/d_s \geq 4 \quad (2.40)$$

dimana :

Q_n = kuat nominal geser untuk penghubung geser, KN

d_s = luas penampang penghubung geser jenis paku, mm

E_c = modulus elastisitas beton Mpa, untuk beton dengan berat normal besarnya $E_c = 57000 \sqrt{f_c}$

Untuk penempatan dan jarak antar penghubung geser, berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002, penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen lentur maksimum dan momen nol yang berdekatan harus didistribusikan secara merata pada daerah tersebut. Namun, jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh lokasi beban terpusat dan momen nol yang terdekat harus sesuai jumlahnya dengan yang dibutuhkan untuk mengembangkan momen maksimum yang terjadi di lokasi beban terpusat tersebut. Sedangkan ketentuan jarak antar penghubung sebagai berikut:

1. Tebal minimum selimut beton pada arah lateral 25 mm
2. Jarak minimum antar penghubung geser pada arah sejajar sumbu balok $\geq 6 \times \text{diameter}$.
3. Jarak minimum antar penghubung geser pada arah tegak lurus sumbu balok $\geq 4 \times \text{diameter}$.
4. jarak maksimum antar penghubung geser $\leq 8 \times \text{diameter}$

2.4.2.8 Perhitungan Lenturan / Lendutan

Untuk perhitungan lenturan/lendutan dari gelagar dengan perletakan jepit – jepit yang menahan beban baik merata dan beban terpusat digunakan rumus sebagai berikut :

1. Akibat beban merata

$$\delta_1 = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \leq \delta_{ijin} \quad (2.41)$$

2. Akibat beban terpusat

$$\delta_2 = \frac{P * L^3}{192 * E * I} \leq \delta_{ijin} \quad (2.42)$$

Dimana :

δ = besarnya lendutan yang terjadi

δ_{ijin} = besarnya lendutan yang diijinkan = $L/360$

q = beban merata

P = beban terpusat

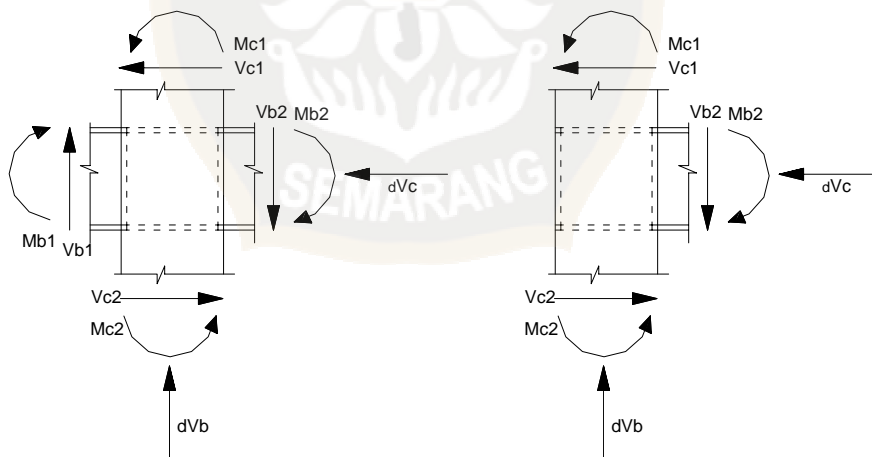
L = bentang/panjang gelagar/balok yang ditinjau

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

2.4.2.9 Analisa Joint

Pada analisa *joint* ini dibatasi hanya memperhitungkan kekuatan *joint* terhadap gaya lintang dan momen, meskipun terdapat gaya aksial, hal ini disebabkan gaya aksial biasanya terlalu kecil sehingga dapat diabaikan.



Gambar 2.5 Gaya –gaya yang bekerja pada joint.

1. Lebar efektif joint (b_j)

$$b_j = b_i + b_o \quad (2.43)$$

$$b_o = C (b_m - b_i) \leq 2d_o \quad (2.44)$$

dimana :

$$b_m = 0,5 (b_f + b) \leq (b_f + h) \text{ dan juga } \leq 1,75 b_f \quad (2.45)$$

b = lebar kolom komposit (in)

$$C = \frac{x}{h} \frac{y}{bf} \quad (2.46)$$

$$d_o = 0,25d \text{ (d = tinggi balok) (in)} \quad (2.47)$$

h = kedalaman kolom (in)

y = perpanjangan lebar plat *bearing* (in)

$$x = h = h/2 + d_c/2$$

2. Vertical Bearing

Kekuatan *vertical bearing* dianggap cukup jika memenuhi persamaan berikut :

$$\sum Mc + 0,35h\Delta Vb \leq \Phi (0,7hC_{cn} + hvr (T_{vn} + C_{vn})) \quad (2.48)$$

dimana :

$$C_{cn} = 0,6 f'c b_j h \quad (2.49)$$

T_{vn} = kuat tarik nominal perkuatan *vertical joint* (kip)

C_{vn} = kuat tekan nominal perkuatan *vertical joint* (kip)

hvr = jarak antar tulangan (in)

3. Gaya geser pada *joint*

Cek persamaan :

$$\sum Mc - Vb.jh \leq \Phi (V_{sn}.df + 0,75.V_{cn}.dw + V_{fn}(d+d_o)) \quad (2.50)$$

a. Mencari nilai jh

dimana :

$$Kp = \frac{1}{\Phi 2 f'c.b_j} (\sum Mc + 0,5 \Delta Vb.h - \Phi (T_{vn} + C_{vn}) hvr) \quad (2.51)$$

$$a_c = 0,5h - \sqrt{0,25h^2 - Kp} \leq 0,3h \quad (2.52)$$

$$C_c = 2f'c.b_j.a_c \quad (2.53)$$

$$jh = \frac{\sum Mc}{\Phi (T_{vn} + C_{vn} + C_c - 0,5\Delta Vb)} \geq 0,7h \quad (2.54)$$

b. Panel Baja

$$V_{sn} = 0,6F_{yp}.t_{sp}.jh \quad (2.55)$$

dimana :

V_{sn} = kuat geser nominal panel baja (kip)

F_{yp} = tegangan leleh panel baja (ksi)

tsp = tebal panel baja (in)

c. *Compression strut* beton

$$V_{cn} = 0,63 b_p \cdot h \cdot \sqrt{f'c} \leq 0,5 f'c \cdot b_p \cdot d_w \quad (2.56)$$

dimana :

V_{cn} = kuat nominal *compression strut* beton (kip)

b_p = lebar efektif plat perletakan (in)

$b_p \leq (b_f + 5 t_p)$ dan $b_p \leq 0,2 b_f$

t_p = tebal plat perletakan (in)

d. Bidang tekanan beton

$$V_{fn} = 0,63 b_o \cdot h \cdot \sqrt{f'c} \quad (2.57)$$

dimana :

V_{fn} = kuat nominal bidang tekanan beton (kip)

4. Tulangan didalam badan balok (A_{ct})

$$V'c = 0,16 b_o \cdot h \cdot \sqrt{f'c} \quad (2.58)$$

$$V's = V_{fn} - V'c$$

$$V's = \frac{A_{ct} \cdot F_y \cdot 0,9 h}{s_h}$$

dimana :

A_{ct} = luas total minimum penampang tulangan (in²)

s_h = jarak antar tulangan didalam balok (in)

F_y = tegangan leleh tulangan (ksi)

5. Tulangan diatas balok (A_{ti})

$$A_{ti} = \frac{V_{fn}}{F_y} \quad (2.59)$$

dimana :

A_{ti} = luas total minimum penampang tulangan tambahan (in²)

F_y = tegangan leleh tulangan (ksi)

6. Cek tebal sayap balok

$$t_f = 0,3 \sqrt{\frac{b_f \cdot t_{sp} \cdot d \cdot F_y}{h \cdot F_y}} \geq t_f \text{ tersedia} \quad (2.60)$$

dimana :

t_{sp} = tebal panel baja (in)

F_y = tegangan leleh baja (ksi)

7. Cek tebal sayap kolom

$$t_f = 0,12 \sqrt{\frac{V_{fn} \cdot b_{pe}}{d_o \cdot F_y}} \geq t_f \text{ tersedia} \quad (2.61)$$

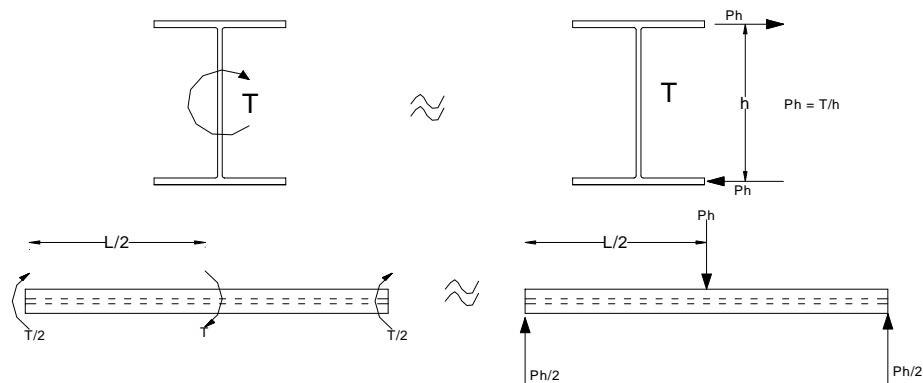
dimana :

b_{pe} = lebar sayap kolom baja (in)

F_y = tegangan leleh baja (ksi)

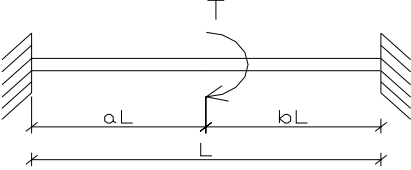
2.4.2.10 Analisa Torsi Pada Balok

Pada perhitungan torsi ini hanya dianalisa terhadap baja profil tanpa melibatkan aksi komposit yang terjadi pada balok yang ditinjau. Metode yang digunakan untuk perhitungan yaitu metode analogi lentur yang telah dimodifikasi. Bila momen torsi luar T pada gambar dibawah dapat dikonversi menjadi kopel P_H kali h , maka gaya P_H dapat diperlakukan sebagai beban lateral yang bekerja pada sayap balok. Sistem pengganti tersebut akan mengalami gaya geser. Distribusi gaya geser lateral sesungguhnya menimbulkan lenturan lateral hanyalah bagian yang diakibatkan oleh pemilinan. Jadi sisitem pengganti menaksir gaya geser lateral secara berlebihan dan akibatnya momen lentur lateral M_f yang menimbulkan tegangan normal (tekan dan tarik) terlalu besar. Oleh karena itu momen M_f yang didapat dikalikan dengan faktor reduksi (β) yang tergantung pada λL .



Gambar 2.6 Analogi antara lentur dan puntir.

Tabel.2.7 Harga β , Beban terpusat , Tumpuan Jepit terhadap Torsi.

		$M_f = \beta (2Ta^2 b^2 L)$ di $z = aL$	
λL	$a = 0,5$	$a = 0,3$	$a = 0,1$
0,5	0,99	1,00	1,00
1,0	0,98	0,99	1,01
2,0	0,92	0,95	1,05
3,0	0,85	0,91	1,10
4,0	0,76	0,85	1,16
5,0	0,68	0,79	1,21
6,0	0,60	0,73	1,25

1. Perhitungan λL

dimana:

L = panjang / bentang balok yang ditinjau

$$\lambda = \sqrt{\frac{GJ}{EC_w}} \quad (2.62)$$

$$G = \text{modulus elastisitas geser, } G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

(2.63)

E = modulus elastisitas baja, $E = 200000 \text{ Mpa} = 29007,54 \text{ ksi}$

μ = angka poisson, untuk baja structural = 0,3 pada daerah elastis.

J = konstanta puntir

$$\text{untuk profil I, } J = \frac{1}{3} ((2bf \times tf^3) + (h \times tw^3)) \quad (2.64)$$

C_w = konstanta pilin (warping)

$$\text{untuk profil I, } C_w = \frac{tfxbf^3xh^2}{24} \quad (2.65)$$

2. Perhitungan faktor reduksi (β) dan momen torsi (M_{fh})

Perhitungan faktor reduksi (β) dan momen torsi (M_{fh}) didapat dari tabel, sesuai dengan kondisi pembebanan dan pengekangan pada balok.

2.4.3. Perencanaan Kolom

2.4.3.1 Perencanaan Kolom Komposit

Dua tipe dari kolom yang biasa digunakan dalam system bangunan komposit. Tipe pertama terdiri dari baja yang diberi selubung di sekelilingnya dan tipe kedua penampang baja berongga yang diisi dengan beton structural.

Perhitungan kedua tipe kolom komposit tersebut menggunakan analisa perhitungan kolom komposit berdasarkan *ASCE dan SNI 2002*.

2.4.3.2 Batasan

Kriteria untuk kolom komposit bagi komponen struktur tekan:

1. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang komposit total;
2. Selubung beton untuk penampang komposit yang berintikan baja harus diberi tulangan baja longitudinal dan tulangan pengekang lateral. Tulangan baja longitudinal harus menerus pada lantai struktur portal, kecuali untuk tulangan longitudinal yang hanya berfungsi memberi kekangan pada beton. Jarak antar pengikat lateral tidak boleh melebihi $\frac{2}{3}$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari $0,18 \text{ mm}^2$ untuk setiap mm jarak antar tulangan transversal (atau longitudinal) terpasang. Tebal bersih selimut beton dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal minimal sebesar 40 mm;
3. Mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 MPa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan.
4. Tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa;
5. Tebal minimum dinding pipa baja atau penampang baja berongga yang diisi beton adalah $b f_y / 3E$ untuk setiap sisi selebar b pada

penampang persegi dan $D f_y / 8E$ untuk penampang bulat yang mempunyai diameter luar D .

2.4.3.3 Kapasitas Kuat Tekan Desain Axial

Kekuatan tekan dari kolom komposit dapat diperkirakan secara akurat sebagai penjumlahan dari kapasitas tekan dari masing-masing bagian komponen yaitu bentuk struktur atau tabung, pengekang longitudinal, dan beton.

Kapasitas kuat tekan desain axial dihitung dengan menggunakan formula :

$$\phi_c P_n = 0.85 A_s F_{cr} \quad (2.66)$$

Dimana :

A_s adalah luas penampang profil baja, mm^2

F_{cr} adalah tegangan tekan kritis, MPa.

$$F_{cr} = (0.658^A) F_{cr} \quad \text{untuk } A \leq 2.25 \quad (2.67)$$

Dan

$$F_{cr} = \frac{0.877}{A} F_{my} \quad \text{untuk } A > 2.25 \quad (2.68)$$

Dimana

$$A = \lambda_c^2 = \frac{Kl}{r_m \pi} \frac{F_{my}}{E_m} \quad (2.69)$$

F_{my} = tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit, MPa

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r_m \pi} \sqrt{\frac{F_{my}}{E_m}} \quad (2.70)$$

$$F_{my} = F_y + \frac{c_1 F_{yr} A_r}{A_s} + \frac{c_2 f'_c A_c}{A_s} \quad (2.71)$$

$$E_m = E_s + \frac{c_3 E_c A_c}{A_s} \quad (2.72)$$

K = factor efektif panjang kolom

l = panjang unsure struktur, mm

r_m = jari-jari girasi kolom komposit, mm

E_m = modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, MPa

F_y = tegangan leleh profil baja, MPa

F_{yr} = tegangan leleh minimum batang tulangan longitudinal, MPa

A_r = luas penampang tulangan longitudinal, mm²

A_s = luas penampang profil baja, mm²

A_c = luas penampang beton, mm²

f'_c = kuat tekan karakteristik beton, MPa

E_s = modulus elastisitas baja, 29000 MPa

E_c = modulus elastisitas beton, MPa

c_1, c_2, c_3 = koefisien yang besarnya diperlihatkan di bawah ini

a. Untuk pipa baja yang diisi beton:

$c_1 = 1,0$, $c_2 = 0,85$, dan $c_3 = 0,4$

b. Untuk profil baja yang diberi selubung beton:

$c_1 = 0,7$, $c_2 = 0,6$, dan $c_3 = 0,2$.

2.4.3.4 Kapasitas Momen Tanpa Kuat Tekan Axial

Kekuatan nominal lentur M_n dari kolom komposit ditentukan dari analisa kekuatan lentur pada tegangan ultimate dan dihitung berdasarkan formula :

$$M_n = ZF_y + \frac{1}{3}(h_2 - 2c_r)A_rF_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_wF_y}{1.7f'_ch_1} \right) A_wF_y \quad (2.73)$$

Dimana

M_n = kapasitas nominal momen lentur

A_w = luas badan dari profil baja ditambah semua semua bars longitudinal di tengah bada.

Z = modulus plastis dari baja

h_1 = lebar beton pada arah tegaklurus bidang lentur (arah tegaklurus sb.x)

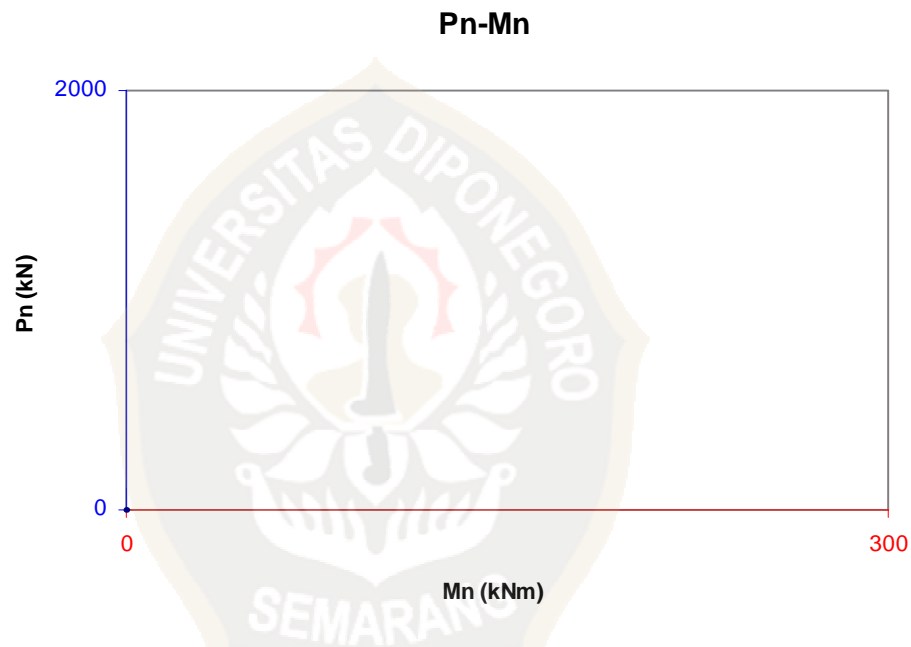
h_2 = tebal beton pada arah bidang lentur

c_r = tebal selimut beton dari pusat bar ke tepi bagian bidang lentur

2.4.3.5 Kombinasi Kuat Tekan Axial dan Momen Lentur

Untuk kolom komposit simetris, kombinasi dari tekanan axial dan lentur dihitung dengan menggunakan diagram interaksi P-M

Hasil dari kombinasi tersebut kemudian diplotkan ke dalam kurva seperti ditunjukkan di bawah ini :



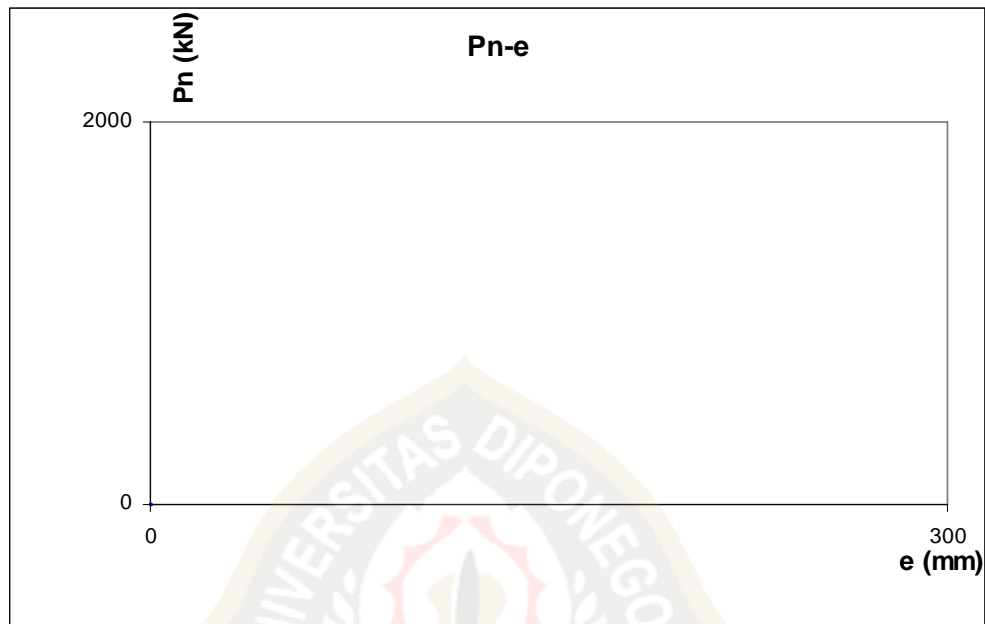
Gambar 2.7 Diagram interaksi P-M

2.4.3.6 Biaxial Bending

Biaxial bending dihitung dengan menggunakan diagram interaksi Pn-Mn dalam lentur uniaksial masing-masing terhadap sumbu x dan sumbu y , sehingga akan didapatkan diagram interaksi lainnya yaitu diagram interaksi Pn-e masing-masing terhadap sumbu x dan y , kemudian tentukan P_x dan P_y untuk lentur uniaksial.

Kemudian dengan menggunakan persamaan *Bresler* :

$$\frac{1}{P_n} \approx \frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} \quad (2.74)$$



Gambar 2.8 Diagram interaksi Pn-e

2.4.3.7 Pembesaran Momen

Pembesaran momen δ yang dinyatakan seperti :

$$\delta = \frac{0.6 - 0.4 \frac{M_{u1}}{M_{u2}}}{1.0 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \quad (2.75)$$

Dengan :

M_{u1} = momen terkecil yang diperlukan

M_{u2} = momen terbesar yang diperlukan

P_u = faktor beban axial pada kolom

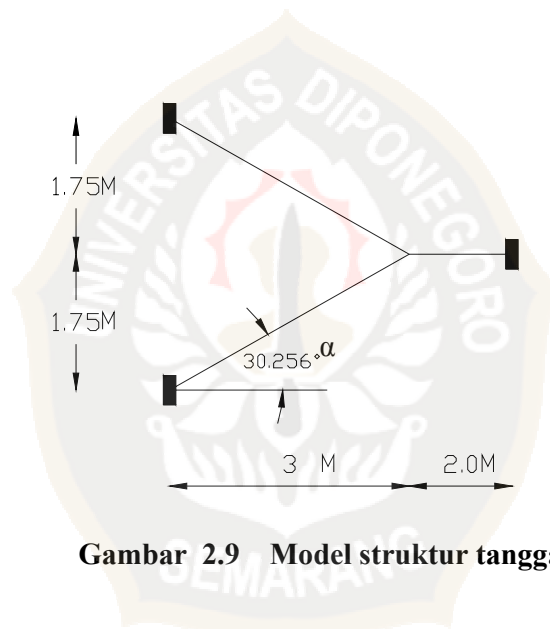
$$P_c = \text{indek elastis tekuk Euler untuk kolom} = \pi^2 \frac{EI}{(Kl)^2} \quad (2.76)$$

ϕ = factor kapasitas reduksi = 0.7

Kl = panjang efektif kolom

2.4.4. Perencanaan Tangga

Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.

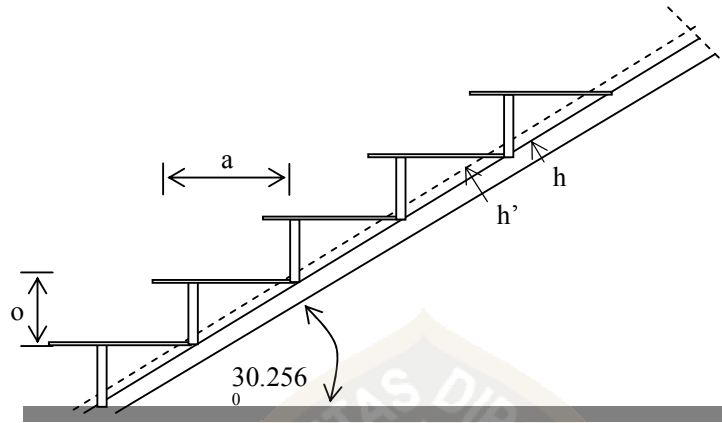


Gambar 2.9 Model struktur tangga

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah sebagai berikut:

- Tinggi antar lantai
- Tinggi Antrede
- Jumlah anak tangga
- Kemiringan tangga
- Tebal pelat beton
- Tinggi Optrede
- Lebar bordes
- Lebar anak tangga
- Tebal selimut beton

- Tebal pelat tangga



Gambar 2.10 Pendimensian struktur tangga

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya dilakukan dengan menggunakan cara cross. Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai setelah didapat gaya - gaya dalam.

2.4.5 Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus.

2.5. Perencanaan Struktur Bawah (*Sub Structure*)

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan, beban-beban yang bekerja dan kondisi sekitar proyek, telah dipilih penggunaan pondasi tiang pancang.

Pemilihan sistem pondasi ini didasarkan atas pertimbangan:

1. Beban yang bekerja cukup besar.
2. Pondasi tiang pancang dibuat dengan sistem sentrifugal, menyebabkan beton lebih rapat sehingga dapat menghindari bahaya korosi akibat rembesan air.
3. Pondasi yang digunakan cukup banyak, sehingga penggunaan tiang pancang prategang merupakan pilihan terbaik.

2.5.1 Penentuan Parameter Tanah

Kondisi tanah selalu mempunyai peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah landasan pendukung suatu bangunan. Untuk dapat mengetahui susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat - sifatnya secara mendetail, untuk perencanaan suatu bangunan yang akan dibangun maka dilakukan penyelidikan dan penelitian. Pekerjaan penyelidikan dan penelitian tanah ini merupakan penyelidikan yang dilakukan di laboratorium dan lapangan.

Maksud dan penyelidikan dan penelitian tanah adalah melakukan investigasi pondasi rencana bangunan untuk dapat mempelajari susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat-sifatnya yang berkaitan dengan jenis bangunan yang akan dibangun di atasnya.

2.5.2. Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis Daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung tanah (Bearing Capacity) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dan segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (ultimate bearing capacity) adalah daya dukung terbesar dan tanah dan biasanya diberi simbol q_{ult} . Daya dukung q_{mi} merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan, rumusnya adalah:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{FK} \quad (2.77)$$

Perancangan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada perletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi resiko adanya erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah dan gangguan tanah di sekitar pondasi.

2.5.3. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

A. Perhitungan Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

Analisis-analisis kapasitas daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan perhitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat - sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan.

1. Berdasarkan kekuatan bahan

Menurut Peraturan Beton Indonesia (PBI), tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu:

$$\sigma_b = 0.33 \times f'c : f'c = \text{kekuatan karakteristik beton} \dots \dots \dots (2.78)$$

$$\sigma_b = 0.33 \times 250 = 82.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{tiang} = \sigma_b * A_{tiang} \dots \dots \dots (2.79)$$

dimana : P_{tiang} = Kekuatan pikul tiang yang diijinkan
 σ_b = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan
 A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

2. Berdasarkan hasil sondir

Tes Sondir atau Cone Penetration Test (CPT) pada dasarnya adalah untuk memperoleh tahanan ujung (q) dan tahanan selimut (c) sepanjang tiang. Tes sondir mi biasanya dilakukan pada tanah - tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras. Berdasarkan

faktor pendukungnya, daya dukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut:

- **End Bearing Pile**

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras di bawahnya.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} * p}{3} \quad (2.80)$$

Kemampuan tiang terdapat kekuatan bahan:

$$P_{tiang} = \text{Bahan} \times A_{tiang} \quad (2.81)$$

dengan:

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kN)

A_{tiang} = Luas permukaan tiang (m)

P = Nilai conus hasil sondir (kN/m)

3 = Faktor keamanan

P_{tiang} = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)

Bahan = Tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm)

- **Friction Pile**

Jika pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras sulit dilaksanakan karena letaknya sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan perletakan antara tiang dengan tanah (cleef).

Persamaan daya dukung yang diijinkan terhadap tiang adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{O * JHP}{5} \quad (2.82)$$

Dimana :

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kN)

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

5 = Faktor Keamanan

- End Bearing And Friction Pile

Jika perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekak, persamaan daya dukung yang diijinkan adalah:

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \cdot p}{3} + \frac{O \cdot C}{5} \quad (2.83)$$

dengan :

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kN)

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total friction (kN/m)

3. Berdasarkan Pelaksanaan

Dengan rumus pancang A. Hilley:

$$P = \frac{\eta_h \cdot W \cdot H \cdot \eta_b}{s + 0,5x(c_1 + c_2 + c_3)} \quad (2.84)$$

Dimana :

P = kapasitas beban pada tiang

W = berat hammer dalam kg (= 3250 kg = 3,25 ton)

H = tinggi jatuh hammer dalam cm (2m = 200 cm)

S = penurunan perpukulan dalam cm (= 1,4 cm)

c_1 = tekanan elastis sementara pada tiang dan penutup = 0,3

c_2 = simpangan tiang akibat tekanan elastis sementara = 0,4

c_3 = tekanan elastis sementara pada tanah = 0,9

η_h = efisiensi hammer = 65 % untuk double acting hammer

= 100 % untuk drop hammer

$$\eta_b = \frac{W + e^2 \cdot p}{W + p} \text{ jika } W > e \cdot p \quad (2.85)$$

$$\eta_b = \frac{W + e^2 \cdot p}{W + p} - \left(\frac{W - e \cdot p}{W + p} \right)^2 \text{ jika } W < e \cdot p \quad (2.86)$$

e = koefisien restitusi (0 s/d 0,5)

B. Daya Dukung Ijin Tiang Group (P_{all} Group)

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dan satu tiang saja, tetapi terdiri dan kelompok tiang. Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

$$Eff = 1 - \frac{\varphi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right] \dots\dots\dots (2.87)$$

dimana: m : jumlah baris
 n : jumlah tiang
 φ : $\arctan(d/s)$, dalam derajat
 d : diameter tiang
 s : jarak antar tiang

$$P_{all\ group} = Eff \times P_{all\ 1\ tiang} \text{ (daya dukung tiang tunggal)} \dots\dots\dots (2.88)$$

C. P_{max} Yang Terjadi Pada Tiang Akibat Pembebanan

$$P_{max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{max}}{n_y \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{max}}{n_x \Sigma x^2} \dots\dots\dots (2.89)$$

Dimana:

P_{max} : beban max yang diterima 1 tiang pancang
 ΣP_v : jumlah beban vertikal

n : banyaknya tiang pancang

M_x : momen arah X

M_y : momen arah Y

X_{max} : absis max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang

Y_{max} : ordinat max (jarak terjauh) tiang ke pusat berat kelompok tiang

N_x : banyak tiang dalam satu baris arah x

N_y : banyak tiang dalam satu baris arah y

Σy^2 : jumlah kuadrat jarak arah Y (absis – absis) tiang

Σx^2 : jumlah kuadrat jarak arah X (ordinat – ordinat) tiang

P_{max} di dapat dari hasil output SAP 2000, dibandingkan P_{eff}

D. Kontrol Settlement

Dalam kelompok tiang pancang (*pile group*) ujung atas tiang-tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan poer (*pile cap*) yang kaku untuk mempersatukan pile-pile menjadi satu-kesatuan yang kokoh. Dengan poer ini diharapkan bila kelompok tiang pancang tersebut dibebani secara merata akan terjadi penurunan yang merata pula.

Penurunan kelompok tiang pancang yang dipancang sampai lapisan tanah keras akan kecil sehingga tidak mempengaruhi bangunan di atasnya. Kecuali bila dibawah lapisan keras tersebut terdapat lapisan lempung, maka penurunan kelompok tiang pancang tersebut perlu diperhitungkan.

Pada perhitungan penurunan kelompok tiang pancang dengan tahanan ujung diperhitungkan merata pada bidang yang melalui ujung bawah tiang. Kemudian tegangan ini disebarkan merata ke lapisan tanah sebelah bawah dengan sudut penyebaran 30^0

Mekanisme penurunan pada pondasi tiang pancang dapat ditulus dalam persamaan :

$$S_r = S_i + S_c \quad (2.90)$$

Dimana : S_r = Penurunan total pondasi tiang

S_i = Penurunan seketika pondasi tiang

S_c = Penurunan konsolidasi pondasi tiang

1. Penurunan seketika (*immediate settlement*)

Rumus yang digunakan :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot \frac{1-\mu \cdot 2}{Eu} \cdot I_p \quad (2.91)$$

Dimana : q_n = besarnya tekanan netto pondasi

B = Lebar ekivalen dari pondasi rakit

μ = angka poison, tergantung dari jenis tanah

I_p = Faktor pengaruh, tergantung dari bentuk dan kekakuan pondasi

Eu = sifat elastis tanah, tergantung dari jenis tanah

2. Penurunan Konsolidasi

Perhitungan dapat menggunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \quad (2.92)$$

C_c = compression index

e_o = void ratio

p_o = tegangan efektif pada kedalaman yang ditinjau

ΔP = penambahan tegangan setelah ada bangunan

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

E. Kontrol Gaya Horisontal

1. Kontrol Daya Dukung Horisontal Akibat Tekanan Tanah

Perhitungan menurut *Foundation of Structure* oleh Dun Hanma, tiang akan terjepit sempurna pada kedalaman (L_d) = $\frac{1}{4}$ s/d $\frac{1}{3}$ L_p .

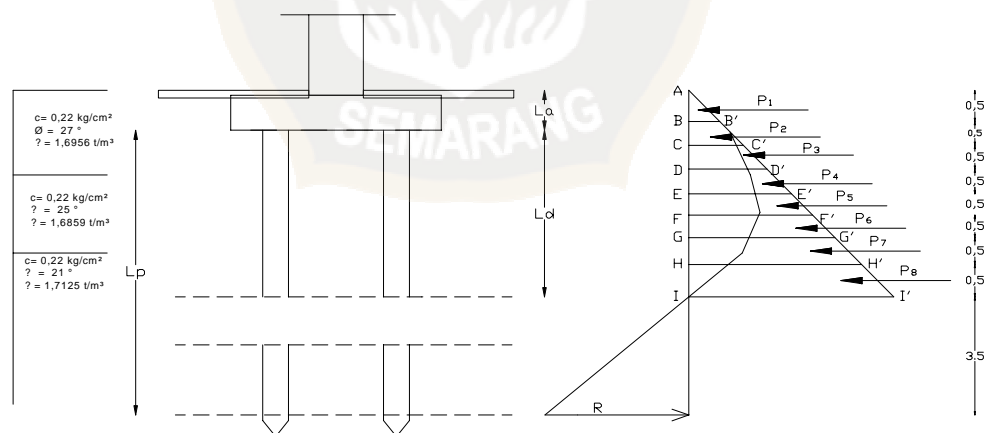
Dimana : L_d = kedalaman titik jepitan dari muka tanah

L_p = panjang tiang yang masuk tanah

B = lebar poer

Maka $L_a = L_p - L_d$

2. Perhitungan Diagram Tekanan Tanah



Gambar 2.11 Diagram Tekanan Tanah Pasif

a. Tekanan Tanah Pasif

$$BB' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 0,5 B$$

$$CC' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 1 B$$

$$DD' = Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot 1,5 B$$

$$\begin{aligned}
 EE' &= Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot (2B + 0,5.5 D) \\
 FF' &= Kp_1 \cdot \gamma_1 \cdot (2,5B + 0,5.5 D) \\
 GG' &= Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (3B + 0,5.5 D) \\
 HH' &= Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (3,5B + 0,5.5 D) \\
 II' &= Kp_2 \cdot \gamma_2 \cdot (4B + 0,5.5 D)
 \end{aligned}$$

b. Gaya Lateral yang terjadi pada tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{1}{2} \cdot AB \cdot BB' \\
 P2 &= \frac{1}{2} \cdot BC \cdot (BB' + CC') \\
 P3 &= \frac{1}{2} \cdot CD \cdot (CC' + DD') \\
 P4 &= \frac{1}{2} \cdot DE \cdot (DD' + EE') \\
 P5 &= \frac{1}{2} \cdot EF \cdot (EE' + FF') \\
 P6 &= \frac{1}{2} \cdot FG \cdot (FF' + GG') \\
 P7 &= \frac{1}{2} \cdot GH \cdot (GG' + HH') \\
 P8 &= \frac{1}{2} \cdot HI \cdot HH' \\
 P_{tot} &= P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8
 \end{aligned}$$

3. Gaya Lateral yang diijinkan

Ditinjau dari titik L, maka

$$\begin{aligned}
 P_{tot} \cdot L_z &= P1 \cdot L1 + P2 \cdot L2 + P3 \cdot L3 + P4 \cdot L4 + P5 \cdot L5 + P6 \cdot L6 + P7 \cdot L7 + \\
 &\quad P8 \cdot L8 \quad \rightarrow \text{didapatkan } L_z
 \end{aligned}$$

Gaya horizontal yang diijinkan (Hult)

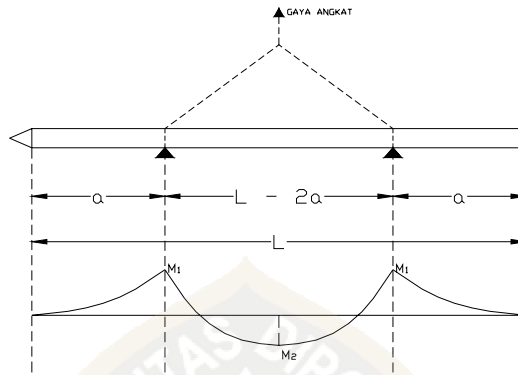
$$\sum M_1 = 0 \rightarrow Hult \cdot L_h - P_{tot} \cdot L_z = 0 \rightarrow \text{didapatkan Hult}$$

Tiang akan mampu menahan beban horizontal jika H yang terjadi lebih kecil dari Hult, sehingga tidak diperlukan tiang pancang miring.

F. Penulangan Tiang Pancang

• Akibat Pengangkatan

Kondisi I



Gambar 2.12 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 2 Titik

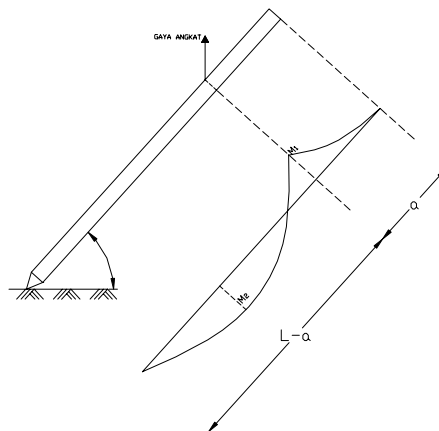
$$M_1 = \frac{1}{2} q \cdot a^2 \dots \dots \dots (2.93)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} * \left(q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q \cdot a^2 \right) \dots \dots \dots (2.94)$$

$$\frac{1}{2} q \cdot a^2 = \frac{1}{8} * \left(q(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} q \cdot a^2 \right)$$

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0 \quad \quad \quad (2.95)$$

Kondisi II



Gambar 2.13 Pengangkatan Tiang Pancang dengan 1 Titik

$$M_1 = \frac{1}{2} * q * a \quad (2.96)$$

$$R_1 = \frac{1}{2} q(L-a) - \left(\frac{\frac{1}{2} L^2 - 2aL}{(L-a)} \right)^2 = \left(\frac{qL^2 - 2q * a * L}{2(L-a)} \right) \quad (2.97)$$

$$Mx = R_1 * x - \frac{1}{2} * q * x^2 \dots\dots\dots(2.98)$$

$$M \text{ max} \rightarrow \frac{dMx}{dx} = 0 \dots\dots\dots(2.99)$$

$$R_1 - qx = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)}$$

$$\begin{aligned} M \text{ max} &= M_2 = R \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) - \frac{1}{2} q * \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} * \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \dots\dots\dots(2.100) \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} * qa^2 = \frac{1}{2} * \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L-a)}$$

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0 \dots\dots\dots(2.101)$$

2.5.4. Dasar Perhitungan Dan Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan pembangunan gedung Hotel ini, pedoman peraturan serta buku acuan yang digunakan antara lain :

1. Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
2. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 - 1729 - 2002)
3. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI-1726-1998)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983
5. Peraturan - peraturan lain yang relevan.